Известия НАН Армении, Физика, т.42, №4, с.250-257 (2007)

УДК 551.594

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ОБЛАЧНОЙ АТМОСФЕРЕ

А.Г. БАГДОЕВ, А.В. ШЕКОЯН

Институт механики НАН Армении, Ереван

(Поступила в редакцию 10 ноября 2006 г.)

Получена общая система уравнений для движения смеси слабо заряженного газа и заряженной капельной жидкости. При расчете учтены конденсация паров на каплях, процесс электризации газа и капель, а также коагуляция капель.

1. Введение

К настоящему времени опубликовано много статей и монографий, описывающих электрические процессы в атмосфере, в том числе в облаках и туманах [1-15]. Электрические процессы в облаках можно разделить на две части – электризация отдельных капель и электрические процессы в облаке в целом. Существенны также процессы, происходящие в атмосфере, в результате которых даже в безоблачной атмосфере существует электрическое поле. Кроме того, в воздухе из-за различных процессов существуют свободные заряды. Таким образом, воздух можно считать слабо ионизированным газом.

Наблюдения показывают, что в воздухе всегда есть вертикальное движение вверх со скоростью u, в том числе и в облаке. В результате этого к капле прилипают ионы воздуха различными механизмами. Один из этих механизмов описан в работах [1,2], иногда его называют диффузионным. Согласно [1], изменение во времени заряда капли равно разности положительных и отрицательных токов на капле. Диффузионный способ прилипания ионов к каплям справедлив до тех пор, пока скорость падения капли меньше скорости дрейфа ионов, то есть реализуется неравенство [5-8] $\mathrm{v}_k < \mu_{1,2}E$, где $\mu_{1,2}$ – подвижность ионов, индекс 1 соответствует положительным, а 2 – отрицательным ионам, v_k – скорость движения капли, а E – напряженность электрического поля. Когда осуществляется обратное неравенсто $\mathrm{v}_k > \mu_{1,2}E$, то под влиянием электрического поля капли поляризуются и происходит селективная абсорбция ионов воздуха [3,4]. Тогда заряд капли Q определяется по формуле

$$Q = a_0 r^2 E\,, \qquad (1)$$

где a_0 – некоторая постоянная, r – радиус больших капель.

В работах [8-10] приведены формулы, обобщающие эти два механизма. Изменение заряда капли определяется следующим уравнением:

$$\frac{dQ}{dt} = \beta_1\left(Q, \mathbf{E}, T, \ldots\right) - \beta_2\left(Q, \mathbf{E}, T, \ldots\right), \tag{2}$$

где

$$\beta_{1,2} = I_{1,2}\left(1 + \frac{\eta}{4\pi n_{1,2} e \mu_{1,2}} I_{1,2}\right), \tag{3}$$

$$I_{1,2} = Q\frac{\exp\left(\mp Q/2Q_T\right)}{2\,\mathrm{sh}\left(Q/2Q_T\right)} 4\pi n_{1,2} e \mu_{1,2}, \tag{4}$$

$Q_T = Tr/e$, T – температура газа, e – элементарный заряд, $n_{1,2}$ – концентрация положительных и отрицательных ионов в газе, $\eta = Er^2/Q_T$. Можно показать, что при $\eta \ll 1$ уравнение (2) переходит в уравнение диффузионной зарядки капли, а при $\eta \gg 1$ из (2) получается (1).

В [11], исходя из физических представлений, приведено общее уравнение зарядки для одной капли

$$\frac{dQ}{dt} = e\int_s \mathbf{f} d\mathbf{s}, \tag{5}$$

где

$$\mathrm{div}\,\mathbf{f} = \frac{\partial n}{\partial t},$$

$\mathbf{f}$ – вектор плотности потока ионов на капле, s – поверхность капли, $n = n_1 + n_2$ – полная концентрация ионов в воздухе, причем n_1 – положительных, а n_2 – отрицательных, V – объем капли. Теперь (5) дает

$$\frac{dQ}{dt} = e\int_V \frac{\partial n}{\partial t} dV. \tag{6}$$

Ниже будет показано, что из (6), как частный случай можно получить формулы селективного и диффузионного механизмов зарядки капель.

Известно, что электризация капель зависит от их радиуса, а этот радиус изменяется из-за конденсации и коагуляции, причем последняя существенно влияет также и на изменения заряда капли. При коагуляции часто маленькие капли, сталкиваясь с большими, отдают полностью (при слиянии) или частично заряд большим каплям, таким образом увеличивая заряд и радиус больших капель. Следовательно, следует учесть при зарядке облака также коагуляцию.

В работах [6,7,12] указано, что при замерзании больших капель на них появляются заряды, которые также могут иметь существенное значение при электризации капель. Согласно [12], заряд замерзающей большой капли определяется формулой

$$Q_3 = am, \tag{7}$$

где a – коэффициент, зависящий от температуры замерзания, содержания в капле примесей и средних долей льда в капле, m – масса капли.

Из анализа вышесказанного следует, что при электризации существенна величина радиуса капель. На увеличение радиуса существенно влияет конденсация, поэтому следует учесть также конденсацию паров на капле.

Из-за различных процессов в облаке происходит разделение зарядов, которому способствуют внешнее электрическое поле, разная подвижность заряженных капель и ионов, вынос заряженных атомов и капель из облаков конвективным движением и другие процессы. В качестве препятствующих факторов можно указать возникновение токов, турбулентное движение и другие факторы. Эти явления описаны в монографиях [5-7]. Представляется важным указать на существование многослойной структуры электрического поля в облаке, а также на мелкомасштабные ячейки с большим электрическим зарядом. Последние быстро восстанавливают свое электрическое поле после молнии [5,13]. Интересное объяснение пытается дать этому эффекту автор статьи [13], предполагая о существовании неустойчивостей, в частности, пучковой неустойчивости, приводящей в определенных условиях к отрицательной дифференциальной электропроводности. Однако в этой работе не учитывается много других факторов, действующих в облаках, например, коагуляция, конденсация.

Общим недостатком всех цитируемых работ является раздельное рассмотрение всевозможных механизмов и ситуаций, тогда как в реальных случаях в природе все они существуют одновременно, взаимосвязанно. Нет общей системы уравнений, описывающих все факторы и взаимовлияние различных процессов при образовании, электризации и развитии облаков.

Таким образом, наша цель – записать общую систему уравнений, описывающих движение смеси газа и капель с учетом различных процессов в облаках: конденсации паров на каплях, коагуляции капель, электризации капель и газа, вязкость газа, что является основной задачей настояшей работы.

2. Основные уравнения

Рассмотрим смесь газ–жидкость, причем будем считать, что газ является сплошной, слабо ионизированной средой. Здесь жидкость является капельной системой с различными размерами капель, висящей в воздухе. Там есть насыщенный и ненасыщенный пар, который конденсируется на каплях. Сами капли частично замерзающие. Кроме диффузионного движения, есть также направленное движение газа. В результате этого движения, капли увлекаются воздушным потоком, но имеют скорость движения, отличную от скорости газа [11]. Капли бывают большие и маленькие, при этом большие капли под влиянием притяжения Земли совершают также вертикальное движение, двигаясь к земной поверхности.

В результате движения ионизированного воздуха капли ионизируются. Капли при коагуляции обмениваются зарядами. Они заряжаются также при замерзании.

Учитывая эти представления, уравнения, описывающие процессы, в том числе электрические, в облачной атмосфере можно представить в виде

$$\xi\rho_1\frac{d_1\mathbf{v}_k}{dt}+(1-\xi)\rho_2\frac{d_2\mathbf{v}_2}{dt}=-\Delta p+e(n_1-n_2)\mathbf{E}+\left[\xi\rho_1+(1-\xi)\rho_2\right]\mathbf{g}\ , \qquad (8)$$

$$\frac{\partial\rho_2}{\partial t}+\operatorname{div}\rho_2\mathbf{v}_2=0\,, \qquad (9)$$

$$\frac{\partial\rho_n}{\partial t}+\operatorname{div}\rho_n\mathbf{v}_2=-\sigma(\rho_n-\rho_s)+q\,, \qquad (10)$$

$$c_p\rho_2\frac{d_2T}{dt}=\frac{d_2p}{dt}+L\sigma(\rho_n-\rho_s)+U\ , \qquad (11)$$

$$\frac{d_1r}{dt}=\frac{D}{r\rho_1}(\rho_n-\rho_s)+M+\frac{G_1}{r^2}\frac{d_1N}{dt}\,, \qquad (12)$$

$$p=R\rho_2T\ , \qquad (13)$$

$$\sigma=4\pi(r_1N+rN_1)D\,, \qquad (14)$$

$$\rho_1\frac{d_1\mathbf{v}_k}{dt}=\frac{9\mu}{2r^2}(\mathbf{v}_2-\mathbf{v}_k)+\rho_2\frac{d_2\mathbf{v}_2}{dt}+\frac{1}{2}\rho_2\left(\frac{d_2\mathbf{v}_2}{dt}-\frac{d_1\mathbf{v}_k}{dt}\right)+\frac{3Q}{4\pi r^3}\mathbf{E}+\rho_1\mathbf{g}\,, \qquad (15)$$

$$\frac{d_2n_{1,2}}{dt}+\operatorname{div}\left(\pm n_{1,2}\mu_{1,2}\mathbf{E}-D_{1,2}\operatorname{grad}n_{1,2}\right)=-\beta n_1n_2+\varphi_0-\frac{1}{e}\left(\frac{Nr_1^2}{r^2}+N_1\right)I_{1,2}\,, \qquad (16)$$

$$\frac{d_1Q}{dt}=\left(\frac{d_1Q}{dt}\right)_1+\left(\frac{d_1Q}{dt}\right)_{\text{coag}}+\left(\frac{d_1Q}{dt}\right)_{\text{freez}}\,, \qquad (17)$$

$$\left(\frac{d_1Q}{dt}\right)_1+Q\operatorname{div}\mathbf{v}_k=\frac{4\pi er^3}{3}\frac{\partial(n_1-n_2)}{\partial t}\,, \qquad (18)$$

$$\left(\frac{d_1Q}{dt}\right)_{\text{coag}}=KNq_c-KNBQ-4\pi\sigma_1Q\,, \qquad (19)$$

$$\left(\frac{d_1Q}{dt}\right)_{\text{freez}}=a\frac{dm}{dt}=4\pi r^3\rho_1a\frac{d_1r}{dt}\,, \qquad (20)$$

$$\operatorname{div}\mathbf{E}=4\pi\left[\varepsilon_1(Nq_1+N_1Q)+(n_1-n_2)e\right], \qquad (21)$$

$$\frac{d_1N}{dt}+N\operatorname{div}\mathbf{v}_k=KN^2-GN\ , \qquad (22)$$

$$K=\frac{1}{6\pi\mu}\left[-Qq_1\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r}\right)+g(4\pi)^2\rho_1(r-r_1)\frac{(r+r_1)^2}{3}+4\pi u(r_1+r)^2+4\pi(r_1+r)^2E\left(\frac{Q}{r}-\frac{q_1}{r_1}\right)\right]. \qquad (23)$$

В уравнениях (8)-(22) сделаны следующие обозначения: ξ – водность, ρ_1 и ρ_2 –

плотности жидкости и газа, g – ускорение силы тяжести, v_2 – скорость движения газа, ρ_s и ρ_n – плотности насыщенных и ненасыщенных паров, r и r_1 – радиусы больших и малых капель, D, D_1 и D_2 – коэффициенты диффузии пара, положительных и отрицательных ионов воздуха, N и N_1 – соответственно, концентрации маленьких и больших капель, t – время, p – давление в среде, μ – коэффициент динамической вязкости воздуха, Q – заряд большой капли, β – коэффициент рекомбинации ионов, φ_0 – коэффициент ионообразования, K – константа коагуляции, G – коэффициент коагуляции, G_1 – коэффициент, обусловливающий увеличение радиуса капель из-за коагуляции, B – доля заряда, передаваемая от больших капель к малым, σ_1 – электропроводность воздуха, q, U, M – источники пара и тепла, производства капель, определяемые из уравнений (8), (9) и (10) в невозмущенном состоянии, q_1 – заряд маленьких капель, ε_1 – диэлектрическая проницаемость жидкости, L – удельная теплота конденсации, R – газовая постоянная, c_p – теплоемкость, $d_1/dt = \partial/\partial t + v_k\nabla$, $d_2/dt = \partial/\partial t + v_2\nabla$.

Предполагается, что капли имеют шаровую форму, а ρ_n есть функция $\rho_n = \rho_n(T, Q, E, r)$ [15].

В кинетическом уравнении (22) в общем случае должен быть интеграл столкновений (см., например, [11,16]). Решать в таком виде кинетическое уравнение представляет значительную математическую трудность. Поэтому предполагается, что константа коагуляции постоянна [11,16]; тогда интеграл столкновений удается посчитать. Причем с учетом акустического поля правая часть примет вид, написанный в уравнении (18) [11,14].

Предполагается, что коагулируют многочисленные маленькие частицы на большие, причем $N \gg N_1$ и $N_1 = \text{const}$. Коагуляция существенно увеличивает радиус и заряд больших капель, а для маленьких капель эти изменения малы и можно считать их радиус и заряд постоянными. Тогда, подобно изложенному в [11], для K можно получить выражение (23), где учитываются кулоновское взаимодействие между каплями, электрические и гравитационные поля и направленное движение воздуха, а изменение заряда Q из-за коагуляции, следуя [5,17], записывается в виде (19).

Уравнение (18) получится из (6), если использовать теорему о среднем, вывести $\partial n/\partial t$ из-под знака интеграла и учесть шарообразную форму капли.

Из (18) видно, что подставляя из уравнений (16) $n_{1,2}$ в (18), можно получить уравнения для dQ/dt, где, кроме слагаемых в (2), есть также слагаемые, отсутствующие в нем.

Уравнение (20) получится из (7), если учесть шарообразную форму капель.

Уравнения (8) и (15) описывают движение капель и воздуха. Уравнения (9)-(14) написаны аналогично представленному в статье [14], с учетом электрических сил. Уравнения (16) показывают изменение количества положительных и отрицательных ионов в воздухе. В отличие от аналогичных уравнений из [2,8], здесь учтен тот факт, что к большим каплям из-за большой поверхности прилипает больше ионов, чем к маленьким, поэтому в уравнении (16), вместо значения концентрации капель у множителя $I_{1,2}$ в статьях [2,8], берется средняя по большим и малым каплям концентрация $(Nr_1^2 + N_1 r^2)/(r_1^2 + r^2) \approx Nr_1^2/r^2 + N_1$ $(r_1 \ll r)$.

3. Линеаризованная система и дисперсионное уравнение

Исследование ограничивается одномерным приближением, считается, что есть только вертикальное движение, т.е. предполагается $\partial/\partial x = \partial/\partial y = 0$. Все величины представляются в виде $\mathrm{v}_k = \mathrm{v}_{0k} + \mathrm{v}'_{kk}$, где v_{0k} – невозмущенная величина, а штрихованная – возмущения, причем малые, так что можно ограничиться линейным приближением. Невозмущенные величины определяются из системы уравнений нулевого приближения, которая получится из (8)-(22), если положить $\partial/\partial t = \partial/\partial x = \partial/\partial y = \partial/\partial z = 0$. Для простоты записи в дальнейшем при всех возмущениях опустим штрихи.

Итак, получается следующая система линейных уравнений:

$$\xi\rho_1\left(\frac{\partial \mathrm{v}_k}{\partial t} + \mathrm{v}_{k0}\frac{\partial \mathrm{v}_k}{\partial x}\right) + (1-\xi)\rho_{02}\left(\frac{\partial \mathrm{v}_2}{\partial t} + \mathrm{v}_{02}\frac{\partial \mathrm{v}_2}{\partial x}\right) = \\ = -\frac{\partial p}{\partial x} + (n_{10} - n_{20})E + (n_1 - n_2)E_0 + (1-\xi)\rho_2 g, \tag{24}$$

$$\frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \mathrm{v}_{20}\frac{\partial \rho_2}{\partial x} + \rho_{20}\frac{\partial \mathrm{v}_2}{\partial x} = 0, \tag{25}$$

$$\frac{\partial \rho_n}{\partial t} + \mathrm{v}_2\frac{\partial \rho_n}{\partial x} + \rho_{0n}\frac{\partial \mathrm{v}_2}{\partial x} = -4\pi D\left[(r_1 N + rN_1)(\rho_{0n} - \rho_{0\mathrm{s}}) + (\rho_n - \rho_\mathrm{s})(r_1 N_0 + r_0 N_1)\right], \tag{26}$$

$$c_p\rho_{20}\left(\frac{\partial T}{\partial t} + \mathrm{v}_{20}\frac{\partial T}{\partial x}\right) = \frac{\partial p}{\partial t} + \mathrm{v}_{20}\frac{\partial p}{\partial x} + \\ + 4\pi DL\left[(r_1 N + rN_1)(\rho_{0n} - \rho_{0\mathrm{s}}) + (\rho_n - \rho_\mathrm{s})(r_1 N_0 + r_0 N_1)\right], \tag{27}$$

$$\frac{\partial r}{\partial t} + \mathrm{v}_{k0}\frac{\partial r}{\partial x} = \frac{D}{r_0\rho_1}\left[\rho_n - \rho_\mathrm{s} - \frac{r}{r_0}(\rho_{0n} - \rho_{0\mathrm{s}})\right] + \frac{G_1}{r_0^2}\left(\frac{\partial N}{\partial t} + \mathrm{v}_{k0}\frac{\partial N}{\partial x}\right), \tag{28}$$

$$\sigma = 4\pi D(r_1 N + r_0 N_1), \tag{29}$$

$$\rho_1\left(\frac{\partial \mathrm{v}_k}{\partial t} + \mathrm{v}_{k0}\frac{\partial \mathrm{v}_k}{\partial x}\right) = \frac{9\mu}{2r_0^2}\left[-\frac{2r}{r_0}(\mathrm{v}_{20} - \mathrm{v}_{k0}) + \mathrm{v}_2 - \mathrm{v}_k\right] + \\ + \frac{3}{2}\rho_{20}\left(\frac{\partial \mathrm{v}_2}{\partial t} + \mathrm{v}_{20}\frac{\partial \mathrm{v}_2}{\partial x}\right) - \frac{1}{2}\rho_{20}\left(\frac{\partial \mathrm{v}_k}{\partial t} + \mathrm{v}_{k0}\frac{\partial \mathrm{v}_k}{\partial x}\right) + \frac{3}{4\pi r_0^3}\left(-\frac{3rQ_0E_0}{r_0} + QE_0 + Q_0E\right), \tag{30}$$

$$\frac{\partial n_{1,2}}{\partial t} + \mathrm{v}_{20}\frac{\partial n_{1,2}}{\partial x} \mp \mu_{1,2}\left(n_{10,20}\frac{\partial E}{\partial x} + E_0\frac{\partial n_{1,2}}{\partial x}\right) - D_{1,2}\frac{\partial^2 n_{1,2}}{\partial x^2} = \\ = -\beta(n_{10}n_2 + n_1 n_{20}) + \mu_{1,2}\frac{4\pi}{e}\left[n_{10,20}\frac{T_0 r_1^2}{r_0}\left(N' - \frac{2N_0 r}{r_0}\right) + \right. \\ \left. + \left(\frac{r_1^2}{r_0^2}N_0 + N_1\right)(n_{10,20}T_0 r + n_{10,20}r_0 T + r_0 T_0 n_{1,2})\right], \tag{31}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\mathrm{v}_{k0}\frac{\partial Q}{\partial x}=-Q_0\frac{\partial \mathrm{v}_k}{\partial x}+\frac{4\pi e}{3}r_0^3\left[\frac{\partial\left(n_1-n_2\right)}{\partial t}+\right.$$
$$\left.+\left(q_{\mathrm{av}}-B_3Q_0\right)K_0N-Q\left(N_0B_3K_0+4\pi\sigma_1\right)+4\pi a\rho_1 r_0^2\left(\frac{\partial r}{\partial t}+\mathrm{v}_{k0}\frac{\partial r}{\partial x}\right)\right], \tag{32}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\mathrm{v}_{k0}\frac{\partial N}{\partial x}=-K_0N_0N-\frac{1}{2}N_0^2-G\left(N_0+N\right)-N_0\frac{\partial \mathrm{v}_k}{\partial x}=$$
$$=-2K_0N_0N-GN-N_0\frac{\partial \mathrm{v}_k}{\partial x}, \tag{33}$$

$$\frac{\partial E}{\partial x}=4\pi\left[\varepsilon_1\left(N_0+N\right)q_1+N_1\left(Q_0+Q\right)+\left(n_{10}-n_{20}\right)e+\left(n_1-n_2\right)e\right]=$$
$$=4\pi\left[q_1\varepsilon_1N+N_1Q+\left(n_1-n_2\right)e\right]. \tag{34}$$

Функция $\rho_s(T,r,Q,E)$ разлагается в ряд по возмущениям:

$$\rho_s=\frac{\partial\rho_s}{\partial T_0}T+\frac{\partial\rho_s}{\partial r_0}r+\frac{\partial\rho_s}{\partial Q_0}Q+\frac{\partial\rho_s}{\partial E_0}E\,.$$

В выражении (4) принято [13] $Q/2Q_T \ll 1,$ тогда

$$\exp\left(\mp\frac{Q}{2Q_T}\right)\approx 1,\quad \mathrm{sh}\left(\frac{Q}{2Q_T}\right)\approx\frac{Q}{2Q_T}.$$

Решение уравнений системы (20)-(30) ищется в виде $A_j\exp\left[i(kx-\omega t)\right]$, где A_j – постоянные амплитуды всех параметров. После подстановки их в уравнения получится система алгебраических уравнений для амплитуд. Приравнивая нулю их детерминант, имеющий двенадцатый порядок, получаем дисперсионное уравнение, дающее связь между k и ω. Изучение детерминанта двенадцатого порядка ввиду его громоздкости представит предмет отдельной статьи.

Таким образом, в данной работе впервые выведена система нелинейных уравнений, описывающая движение и электризацию облачной атмосферы с учетом всех известных физических процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Г.Ф.Друкарев**. Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., **8**, 330 (1944).
2. **Г.Ф.Друкарев**. Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., **9**, 94 (1945).
3. **C.T.Wilson**. J. Franklin Inst., №1, 1 (1929).
4. **F.Y.Whipple, J.A.Chalmers**. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., **70**, 103 (1944).
5. **И.М.Имянитов, Е.В.Чубарина, Я.М.Шварц**. Электричество облаков. Л., Гидрометеоиздат, 1971.
6. **Н.В.Красногорская**. Электричество нижних слоев атмосферы и методы его измерения. Л., Гидрометеоиздат, 1972.
7. **Б.Дж.Мейсон**. Физика облаков. Л., Гидрометеоиздат, 1961.
8. **С.М.Анисимов, Е.А.Мареев, А.Е.Сорокин, Н.Н.Шихова, Э.М.Дмитриев**. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, **39**, 58 (2003).
9. **B.Y.Liu, A.Kapadia**. J. Aerosol Sci., **9**, 227 (1978).
10. **J.D.Klett**. J. Atmospheric Sci., **28**, 78 (1971).

11. **И.П.Верещагин, В.И.Левитов, Г.З.Мирзабекян, М.М.Пашин**. Основы электрогазодинамики дисперсных систем. М., Энергия, 1974.
12. **А.Х.Аджиев, А.В.Шаповалов**. Труды ВГИ, Физика облаков и активное воздействия на градовые процессы. М., Гидрометеоиздат, вып. **83**, 3 (1991).
13. **В.Ю.Трахенгерц**. ДАН СССР, **308**, 584 (1989).
14. **А.Г.Багдоев, А.В.Шекоян**. Изв. НАН Армении, Физика, **38**, 247 (2003).
15. **С.Н.Нетреба**. Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, **34,** 817 (1988).
16. **А.Х.Хргиян**. Физика атмосферы. Л., Гидрометеоиздат, 1969.
17. **G.Frier**. Monthly Weather Rep., **95**, 843 (1967).

ԱՄՊԱՅԻՆ ՄԹՆՈԼՈՐՏՈՒՄ ԷԼԵԿՏՐԱՁԱՅՆԱՅԻՆ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

Ա.Գ. ԲԱԳԴՈԵՎ, Ա.Վ. ՇԵԿՈՅԱՆ

Գրված են թույլ էլեկտրականացված գազի շարժման ընդհանուր հավասարումները, երբ գազը պարունակում է լիցքավորված հեղուկի կաթիլային համակարգ: Հավասարումներում հաշվի են առնված գոլորշու կոնդեսացումը կաթիլների վրա, գազի և կաթիլների էլեկտրականացման պրոցեսը, կաթիլների կոագուլյացիան:

THEORY OF ELECTROACOUSTIC WAVES IN CLOUD ATMOSPHERE

A.G. BAGDOEV, A.V. SHEKOYAN

A general system of equations for motion of a weakly charged gas mixture with a charged drop system is obtained. In calculations the condensation of vapors on drops, the process of electrization of gas and drops, and the coagulation of drops are taken into account.